

**PAT-NO:** JP02002101673A  
**DOCUMENT-IDENTIFIER:** JP 2002101673 A  
**TITLE:** PIEZO-ACTUATOR DRIVE CIRCUIT

**PUBN-DATE:** April 5, 2002

**INVENTOR-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
FUKAGAWA, YASUHIRO	N/A
MORITSUGU, MICHIASU	N/A
SAKAKIBARA, YASUYUKI	N/A
ITO, TOSHIHIKO	N/A

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
NIPPON SOKEN INC	N/A
DENSO CORP	N/A

**APPL-NO:** JP2000285566  
**APPL-DATE:** September 20, 2000

**INT-CL** H02N002/00 , F02M051/00 , F02M051/06 , H01L041/083 , F02M047/00 ,  
**(IPC):** F02M047/02

**ABSTRACT:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To highly accurately control supply energy for a piezo-stack without influence of such as environment temperature.

**SOLUTION:** The piezo-actuator drive circuit is constituted to energize the piezo-stack 2 through a transformer 13 from a direct current power source 11, a switching element 14 is provided in the primary side circuit 121 in the energization path 12, a diode 151 is provided so that induction electromotive force generated in the secondary side winding 132 of the transformer is forward bias when the switching element 14 is switched from turn-on to turn-off in a secondary side circuit 122, current of the secondary side circuit 122 is allowed only when the switching element 14 is turned off, and the piezo-actuator drive circuit is regulated by the

current of the primary side circuit 121 flowing when supply energy to the piezo-stack 2 is turned on and the inductance of the primary winding 131 of the transformer having temperature dependence.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to a piezo actuator drive circuit.

[0002]

[Description of the Prior Art] A piezo actuator is a thing using a piezo-electric operation of piezoelectric material, such as PZT, and the piezo stack which is a capacitive component develops or contracts by charge and discharge, and it carries out linear motion of the piston etc. For example, what changes the closing motion valve of the injector for an internal combustion engine's fuel injection with a piezo actuator is known.

[0003] There is a thing of two or more switching method as a piezo actuator drive circuit which carries out the charge and discharge of the piezo stack. Drawing 9 shows the example of representation of this piezo actuator drive circuit, forms diode 907 and forms the closed circuit by this diode 907, the inductor 909, and the piezo stack 901 so that it may become the energization path which connects DC power supply 902 and the piezo stack 901 with a reverse bias to DC power supply 902, while forming a switching element 904 and an inductor 909 in a serial. And at the time of ON, a current flows by turning a switching element 904 on and off in the path of DC power supply 902 an inductor 909 the piezo stack 901 - DC power supply 902, and a flywheel current flows in the path of an inductor 909 the piezo stack 901 diode 907 - an inductor 909 at the time of OFF. Thereby, charge is made by the piezo stack 901, the piezo stack 901 develops or thrust is generated. That 1 time of a charge should be made small and an inductor 909 should be miniaturized, by repeating on-off actuation of a switching element 904, charge actuation is divided into multiple times and is usually performed (JP,10-308542,A etc.). In addition, diode 908 and a switching element 905 are for collecting the energy of the piezo stack 901 to a buffer capacitor 906 among drawing.

[0004] Since the supply energy to a piezo stack is expressed with valve flow coefficient  $(1/2)C^2V^2$  (electrostatic capacity of a C: piezo stack, V: piezo stack electrical potential difference) although it is necessary to control a charge in order to produce and cheat out of the predetermined thrust to the predetermined amount of expanding, said predetermined piston, etc. to a piezo stack, there are some which control the count of turning on and off of a switching element etc. so that a piezo stack electrical potential difference may serve as a predetermined value.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, generally, electrostatic capacity is large at the rise of temperature, and capacitive components including a piezo stack increase. For example, the big temperature dependence from which electrostatic capacity changes about several times in said temperature requirement in the temperature requirement of -20-160-degreeC to stopping at change whose inductance is about several % in an inductor by the piezo stack is shown. For this reason, for example, even if the piezo stack electrical potential difference serves as said set point correctly, it will be dependent on temperature, and said amount of expanding is not given correctly, or the amount of electrostatic energies accumulated in a piezo stack produces excess and deficiency in thrust. The

problem that highly precise fuel injection is unrealizable in this result, for example, said internal combustion engine, is produced.

[0006] The thing it was made to absorb the temperature dependence of the electrostatic capacity of a piezo stack is indicated by JP,11-31755,A by supervising the behavior of the amount of expanding of the piezo stack under charge, or a piezo stack electrical potential difference, and making the result reflect in actuation of a switching element.

[0007] However, with a technique given [ said ] in JP,11-31755,A, an operation burden carries out a cost rise greatly.

[0008] Moreover, although detecting the charging current to a piezo stack with a piezo stack electrical potential difference, integrating what multiplied by this, and calculating the amount of supply energy is also considered, it is necessary to detect both an electrical potential difference and a current after all the top where an operation burden is large.

[0009] This invention was not made in view of said actual condition, and aims at offering the piezo actuator drive circuit which can control the amount of expanding of a piezo stack etc. by high degree of accuracy, without being accompanied by the too heavy operation burden.

[0010]

[Means for Solving the Problem] In invention according to claim 1, it considers as the configuration which energizes the energization path to said piezo stack from DC power supply to said piezo stack through a transformer in the piezo actuator drive circuit which charges the piezo stack prepared in the piezo actuator by the flyback method. The switching element for energy supply which opens and closes this primary side circuit is prepared in the primary side circuit of said energization path by which said DC power supply and coil of the upstream of said transformer are connected to a serial. The diode for energy supply is formed in the secondary circuit of said energization path where said DC power supply and secondary coil of said transformer are connected to a serial so that the induced electromotive force generated in said secondary coil at the time of said primary side-circuit closing may serve as forward bias.

[0011] If a switching element turns on, the current increased gradually to the upstream coil of a transformer will flow, and the energy according to a current value is accumulated in a transformer. The induced electromotive force generated in the secondary coil of the transformer at this time does not contribute to charge of a piezo stack in a nonreturn operation of diode. Subsequently, to diode, if a switching element turns off, since it is forward bias, a current will flow in a secondary circuit and, as for the induced electromotive force generated in the secondary coil of the transformer at this time, a piezo stack will be charged.

[0012] In the conventional thing (refer to drawing 9 ), the energy supplied to a piezo stack like the above by this invention to the energy from DC power supply being distributed and accumulated in an inductor and a piezo stack when a switching element is an ON state is only the energy accumulated in the transformer, when a switching element is an ON state. This energy is expressed as  $LI(1/2)I^2$  (the inductance of L:transformer primary winding, I: current of the transformer primary winding in front of switching element OFF) like an inductor. That is, it is prescribed by the inductance L and current value I of a transformer primary winding as a small inductor of a temperature change as compared with a capacitive element. Therefore, supply energy to a piezo stack can be controlled only by supervising that the current value I reached the predetermined value with high precision, without being accompanied by operations, such as the amount of energy.

[0013] A capacitor is made to interpose in said DC power supply between the outgoing end in the configuration of invention of claim 1 in invention according to claim 2. The switching element of energy time condemnation is prepared in said diode and juxtaposition in said secondary circuit. The diode of energy time condemnation is formed in said primary side circuit so that it may become a switching element for said charge control, and juxtaposition with a reverse bias to said DC power supply.

[0014] If the switching element of energy time condemnation turns on, the discharge current of a piezo stack will flow to the secondary coil of a transformer, and energy will be accumulated in a transformer. Then, if the switching element of said energy time condemnation turns off, the induced current will flow

to an upstream coil and charges, i.e., energy, will be collected by the capacitor.

[0015] In invention according to claim 3, in the configuration of claim 1 or invention of two, said switching element is connected so that the end may serve as a reference potential of said energization path.

[0016] Since-izing of the switching element can be carried out [ low side \*\*\*\*\* ], the drive circuit of a switching element can be considered as a simple configuration.

[0017] In invention according to claim 4, what connected the switching element said piezo stack and for said piezo actuator selection to the serial in said secondary circuit is connected to two or more set juxtaposition in the configuration of claim 1 thru/or invention of three.

[0018] Only the piezo stack corresponding to what was turned on among the switching elements for piezo actuator selection forms said secondary circuit. Since a transformer, the switching element for energy supply, etc. can be considered as a common configuration to two or more piezo actuators, simplification of circuitry and cost reduction can be planned.

[0019] In invention according to claim 5, in the configuration of claim 1 thru/or invention of four, when only a predetermined count turns on and off the switching element which opens and closes said primary side circuit, it considers as the configuration which supplies desired energy to a piezo actuator.

[0020] According to the count of turning on and off of said switching element, supply energy is controllable to arbitration.

[0021]

[Embodiment of the Invention] (The 1st operation gestalt) The configuration of the piezo actuator drive circuit which applied this invention to drawing 1 is shown. The piezo actuator drive circuit was applied to the fuel-injection system of the 4-cylinder diesel power plant of a common rail type, and is later mentioned about the whole fuel-injection system configuration. The piezo actuator drive circuit 1 constitutes DC power supply 11 from a mounted dc-battery 111 and a dc-battery 111 with DC-DC converter 112 which generates the direct current voltage of dozens - hundreds V, and the buffer capacitor 113 connected to the outgoing end at juxtaposition, and outputs piezo stack 2A, 2B, 2C, and the electrical potential difference for charge of 2D. The energization path 12 energized to piezo stack 2A - 2D performs energization through a transformer 13 from DC power supply 11. The electrostatic capacity of a buffer capacitor 113 is comparatively big, it is constituted; and maintains the electrical-potential-difference value of abbreviation regularity also at the time of the charge actuation to piezo stack 2A - 2D.

[0022] Piezo stack 2A - 2D are carried in each of an injector as an object for the change of the fuel injection of the injector formed in each gas column, and a halt so that it may mention later.

[0023] To the primary side circuit 121 which connects the upstream coil 131 of the DC power supply 11 and the transformer 13 of the energization path 12, the switching element (suitably henceforth an upstream switching element) 14 is formed in the capacitor 113 and the transformer upstream coil 131 at the serial, and the primary side circuit 121 is opened and closed. nMOSFET is used for the switching element 14, the drain flows with the transformer upstream coil 131, and the source is grounded and serves as a reference potential. Thereby, the parasitism diode (suitably henceforth upstream parasitism diode) 141 of the upstream switching element 14 serves as a reverse bias to DC power supply 11, and only the current of the direction which faces to the positive electrode of a capacitor 113 from the transformer upstream coil 131 is permitted.

[0024] In the secondary circuit 122 which connects the secondary coil 132 of a transformer 13 of the energization path 12, and piezo stack 2A - 2D, the switching element (suitably henceforth a secondary switching element) 15 is formed in the serial at the transformer secondary coil 132, and piezo stack 2A - 2D, and the secondary circuit 122 is opened and closed. nMOSFET is used, the secondary switching element 15 flows through the drain with the transformer secondary coil 132, and the source is grounded and serves as a reference potential. The parasitism diode (suitably henceforth secondary parasitism diode) 151 of the secondary switching element 15 permits only the current of the direction which goes to piezo stack 2A - 2D from the transformer secondary coil 132.

[0025] The secondary circuit 122 is common to each of piezo stack 2A - 2D, and can choose piezo stack

2A as a candidate for a drive - 2D as follows. namely, piezo stack 2A - 2D -- respectively -- being alike - - switching elements (suitably henceforth a selection switching element) 16A, 16B, 16C, and 16D are connected to a serial 1 to 1, and 16A-16D corresponding to PIESU tuck 2A of the injector of an injection gas column - 2D are turned on. nMOSFET is used, the selection switching elements 16A-16D flow through the drain with corresponding piezo stack 2A - 2D, and the source is grounded and serves as a reference potential. The parasitism diodes (suitably henceforth secondary parasitism diode) 161A, 161B, 161C, and 161D of the selection switching elements 16A-16D permit only the current of the direction which goes to the transformer secondary coil 132 from piezo stack 2A - 2D contrary to the secondary parasitism diode 151.

[0026] The control signal has inputted into each gate of switching elements 14, 15, 16A-16D from ECU3, respectively. While turning either of the selection switching elements 16A-16D on and choosing piezo stack 2A for a drive - 2D like the above A pulse-like control signal inputs into the gate of the upstream switching element 14 and the secondary switching element 15, switching elements 14 and 15 are turned on and off, and the primary side circuit 121 and the secondary circuit 122 are opened and closed.

[0027] Moreover, the winding direction of the coil 131,132 of a transformer 13 is set up as follows. That is, although the current which the upstream switching element 14 will increase gradually to the transformer upstream coil 131 if the primary side circuit 121 is closed by ON flows, it is set up so that the induced electromotive force generated in the transformer secondary coil 132 according to this current to increase gradually may serve as a reverse bias to the secondary parasitism diode 151. When the upstream switching element 14 changes from ON off and the primary side circuit 121 carries out Kaisei of this, it is equivalent to being set up so that the induced electromotive force generated in the transformer secondary coil 132 may serve as forward bias to the secondary parasitism diode 151. By this, at the time of ON of the upstream switching element 14, a current does not flow in the secondary circuit 122, but the current of the direction which goes at piezo stack 2A - 2D to the secondary circuit 122 from the transformer secondary coil 132 at the time of OFF of the upstream switching element 14 flows, and piezo stack 2A - 2D are charged. Piezo stack 2A - 2D are elongated by charge.

[0028] Therefore, when piezo stack 2A - 2D are in a charge condition, the secondary switching element 15 is turned on, the secondary circuit 122 closes, the discharge current from piezo stack 2A - 2D flows in the secondary circuit 122, and piezo stack 2A - 2D contract. Here, even if said discharge current flows in the secondary circuit 122, a current does not flow to the primary side circuit 121, but the current of the direction which faces to a buffer capacitor 113 from the transformer upstream coil 131 at the primary side circuit 121 at the time of OFF of the secondary switching element 15 flows, and a buffer capacitor 113 is charged.

[0029] The structure of the injector for fuel injection where piezo stack 2A - 2D are carried in drawing 2 is shown, and the fuel-injection structure of a system of the common rail type of the diesel power plant which has said injector in drawing 3 and is constituted is shown. The injector 4 for several gas column minutes of a diesel power plant is formed corresponding to each gas column (one injector 4 is illustrated in the example of drawing), receives supply of a fuel from the common common rail 54 which is open for free passage through a supply line 55, and injects a fuel from an injector 4 by the injection pressure equal to the combustion chamber of each gas column to the fuel pressure in the abbreviation common rail 54 (henceforth, common-rail-pressure force). The fuel of a fuel tank 51 is fed by the common rail 54 with the high-pressure supply pump 53, and it is stored with high pressure.

[0030] Moreover, the fuel supplied to the injector 4 from the common rail 54 is used also as control oil pressure of the injector 4 besides for the injection to the above-mentioned combustion chamber etc., and flows back into a fuel tank 51 through the low-pressure drain line 56 from an injector 4.

[0031] It is prepared in a common rail 54, the common-rail-pressure force is detected, ECU3 controls the metering valve 52 based on the detection result, and a pressure sensor 57 adjusts the pumping speed of the fuel to a common rail 54, and controls the common-rail-pressure force to become the proper injection pressure according to the service condition known by other sensor inputs etc.

[0032] As shown in drawing 2, an injector 4 is a rod-like structure, and it is attached so that the amount

of drawing Nakashita flank may penetrate the combustion chamber wall of engine figure abbreviation and it may project in a combustion chamber. The injector 4 is nozzle section 4a, back-pressure control section 4b, and piezo actuator 4c from the bottom at order.

[0033] The needle 421 is held free [ sliding ] in the back end section in the body 404 of nozzle section 4a, and a needle 421 sits down or stand ups on the annular sheet 4041 formed in the point of a nozzle body 404. A high-pressure fuel is introduced into the periphery space 405 of the point of a needle 421 from a common rail 54 through the high-pressure path 401, and a fuel is injected from a nozzle hole 403 at the time of standing up of a needle 421. The fuel pressure from said high-pressure path 401 is acting on the annular \*\*\*\* 4211 in the direction of a lift (facing up) at the needle 421.

[0034] Behind the needle 421, the fuel as a control oil is introduced through the in orifice 407 from the high-pressure path 401, and the back pressure room 406 which generates the back pressure of a needle 421 is formed. This back pressure acts on the back end side 4212 of a needle 421 in the taking-a-seat direction (facing down) with the spring 422 arranged in the back pressure room 406.

[0035] Said back pressure is changed by back-pressure control section 4b, and back-pressure control section 4b is driven by piezo actuator 4c equipped with said piezo stack 2A. In addition, the injector equipped with piezo stack 2B - 2D is also the same structure.

[0036] Said back pressure room 406 is always open for free passage with the valve chest 410 of back-pressure control section 4b through the out orifice 409. The head-lining side 4101 is formed in the shape of [ upward ] a cone, and the valve chest 410 is connected with the low pressure chamber 411 at the topmost part of the head-lining side 4101. The low pressure chamber 411 is open for free passage with the low voltage path 402 leading to the drain line 56.

[0037] The high-pressure control path 408 which branches from the high-pressure path 401 is carrying out opening to the base 4102 of the valve chest 410.

[0038] In the valve chest 410, the ball 423 which cut the lower part horizontally is arranged. A ball 423 is the valve element which can move up and down, at the time of descent, it sits down in respect of [ above-mentioned ] a cut on the valve chest base (henceforth a high-tension-side sheet) 4102 as a valve seat, intercepts the valve chest 410 with the high-pressure control path 408, sits down to the above-mentioned head-lining side (henceforth a low-tension side sheet) 4101 as a valve seat at the time of a rise, and intercepts the valve chest 410 from said low pressure chamber 411. By this, at the time of ball 423 descent, the back pressure room 410 is open for free passage with a low pressure chamber 411 through the out orifice 409 and the valve chest 410, the back pressure of a needle 421 falls, and a needle 421 stand ups. On the other hand, at the time of a rise of a ball 423, the back pressure room 406 is intercepted with a low pressure chamber 411, it is open for free passage only with the high-pressure path 401, the back pressure of a needle 421 rises, and a nozzle needle 421 sits down.

[0039] The press drive of the ball 423 is carried out by piezo actuator 4c. Piezo actuator 4c is held free [ sliding of two pistons 424,425 from which a path differs in the dugout 412 formed in the vertical direction above the low pressure chamber 411 ], and piezo stack 2A is arranged above the piston 425 of an upper major diameter considering the vertical direction as a flexible direction.

[0040] the major-diameter piston 425 is maintaining piezo stack 2A and a contact condition with the spring 426 prepared caudad, and is the same as the amount of telescopic motion of piezo stack 2A -- it displaces to \*\* top down.

[0041] The space demarcated in the ball 423, the minor diameter piston 424 of the bottom which counters, the major-diameter piston 425, and the dugout 412 is filled up with a fuel, the displacement expansion room 413 is formed, and if the major-diameter piston 425 carries out inferior displacement by expanding of piezo stack 2A and the fuel of the displacement expansion room 413 is pressed, the thrust will be told to the minor diameter piston 424 through the fuel of the displacement expansion room 413. Here, since the minor diameter piston 424 is made into the minor diameter rather than the major-diameter piston 425, the amount of expanding of piezo stack 2A is expanded, and it is changed into the variation rate of the minor diameter piston 424.

[0042] The displacement expansion room 413 leads to the low voltage path 402 through the check valve which is not illustrated so that always enough fuels may be filled. The direction which goes to the

displacement expansion room 413 is established in the check valve as the forward direction from the low voltage path 402, when the major-diameter piston 425 is pressed by expanding of piezo stack 2A, it is closed, and it confines a fuel in the displacement expansion room 413.

[0043] At the time of fuel injection, when piezo stack 2A is charged and piezo stack 2A develops first, the minor diameter piston 424 descends and a ball 423 is depressed. Since it sits down on the high-tension-side sheet 4102 and the back pressure room 406 is open for free passage with the low voltage path 402 while a ball 423 estranges from the low-tension side sheet 4101 by this, the fuel pressure of the back pressure room 406 falls. The direction of the force of acting on a needle 421 in the standing-up direction serves as dominance from the force of acting in the taking-a-seat direction, by this, a needle 421 stand ups, and fuel injection is started.

[0044] An injection halt reduces piezo stack 2A by discharge of piezo stack 2A on the contrary, and cancels the depression force to a ball 423. Since the inside of the valve chest 410 serves as low voltage and high-pressure fuel pressure is acting on the base of a ball 423 from the high-pressure control path 408 at this time, upward fuel pressure is acting on a ball 423 as the whole. And since it sits down on the low-tension side sheet 4101 again and the fuel pressure of the valve chest 410 rises by discharge of the depression force to said ball 423 while a ball 423 estranges from the high-tension-side sheet 4102, a needle 421 sits down and injection stops. And a fuel is injected by setting up the charge maintenance period of piezo stack 2A from a fixed period corresponding to a charge maintenance period, and a nozzle hole 401.

[0045] Actuation of each part of said piezo actuator drive circuit 1 is shown in drawing 4, and this explains actuation of the fuel-injection system which includes the piezo actuator drive circuit 1 with a setup of ECU3. In addition, actuation is substantially the same about every injector, and the injector 4 which represented and was equipped with piezo stack 2A is explained. It is the first half among drawing at the charge time of piezo stack 2A, and the second half shows the actuation at the time of discharge of piezo stack 2A. Selection switching element 16A corresponding to piezo stack 2A is beforehand changed to ON.

[0046] The actuation at the time of charge of piezo stack 2A is explained. If the upstream switching element 14 is turned on and off in the shape of a pulse, first, a saw-tooth-wave-like current will flow from a capacitor 113 to the transformer upstream coil 131 at the "on" period of the upstream switching element 14 (I1), and energy will be accumulated in a transformer 13. At this time, like the above, a current does not flow in the secondary circuit 122 (I2), and piezo stack 2A is not charged.

[0047] And if the upstream switching element 14 turns off, the induced electromotive force generated in the transformer secondary coil 132 will serve as forward bias to the secondary parasitism diode 151, a current will flow in the path of the transformer secondary coil 132 piezo stack 2A - secondary parasitism diode 151 - the transformer secondary coil 132, and piezo stack 2A will be charged. That is, the energy accumulated in the transformer 13 moves to piezo stack 2A.

[0048] The energy W accumulated in a transformer 13 here will serve as a formula (1), if peak value of the energization current of L and the upstream coil 131 is set to I for the in dunk shot wardrobe of the upstream coil 131:

$$W=(1/2) LI^2 \dots (1)$$

[0049] Moreover, it is referred to as T, and since it is  $I=VT/L$ , the electrical potential difference of a buffer capacitor 113 can be expressed for the ON time amount of V and the upstream switching element 14 as a formula (2).

$$W=(1/2) (VT)^2 / L \dots (2)$$

[0050] And depending on the inductance of the small transformer primary winding 131 of temperature dependence, it is not dependent on the electrostatic capacity of piezo stack 2A, and since the electrical potential difference V of a buffer capacitor 113 is fixed, it can control the supply energy to piezo stack 2A with high precision according to a setup of the ON time amount T, or a setup of the count of turning on and off of the upstream switching element 14, so that this energy is known from a formula (2). For example, like the example of drawing 4, while carrying out multiple-times turning on and off of the switching element 14, ON time amount T is fixed, energy W in one turning on and off of a switching



element 14 is fixed, according to the energy demanded, the count of turning on and off of a switching element 14 can be set up, and Energy W can be controlled for the supply energy to piezo stack 2A by the count of turning on and off to arbitration as a unit. Thereby, it becomes possible easily to use a needle 421 as the so-called half lift which makes a ball 423 a lift condition with a taking-a-seat condition, and common rail pressure can be controlled with high precision. For example, the amount of lifts of the ball 423 influenced of common rail pressure can be made into an expected value by controlling the supply energy to piezo stack 2A according to common rail pressure.

[0051] And since it is not necessary to supervise change of the piezo stack electrical potential difference which originates in the temperature dependence of piezo stack 2A, and to feed back to charge control, an operation burden is light.

[0052] The temperature characteristic of the amount of elongation of piezo stack 2A and the amount of displacement of a bulb 423 is shown, drawing 5 is the thing of this invention, and drawing 5 and drawing 6 are the things of equipment (refer to drawing 9) conventionally which drawing 6 will consider as the completion of charge if a piezo stack electrical potential difference reaches a predetermined value. In addition, it combines with both drawings, respectively and the temperature characteristic of the supply energy to piezo stack 2A is shown. Supply energy detects a piezo stack electrical potential difference and the charging current, and is searching for them in integrating what multiplied by this.

[0053] Conventionally, with equipment, supply energy changes more than twice in the temperature requirement of -20-160-degreeC, and the amount of elongation of a piezo stack and the amount of displacement of a ball change about twice. on the other hand -- this invention -- said temperature requirement -- supply energy -- almost -- not changing -- the amount of elongation of a piezo stack, and a bulb -- a variation rate -- the amount is fixed. In addition, among drawing, although the amount of elongation of a piezo stack is converted with a dilation ratio (area ratio of a piston), the thing with the smaller amount of displacement of an actual ball is because the fuel of the displacement expansion room 413 is compressed because the minor diameter piston 424 receives the high-pressure fuel of the valve chest 410 through a ball 423, and a dilation ratio is reduced by this compression.

[0054] Moreover, an upstream electrical potential difference, i.e., the output voltage of DC-DC circuit 112, can be low-battery-ized by taking the winding ratio (upstream coil: secondary coil) of a transformer 13 the one of the secondary coil 132 larger enough like 1:2 or 1:3, and raising a pressure-up ratio. Thereby, the thing of low pressure-proofing becomes usable to a buffer capacitor 113, and the miniaturization of a circuit can be attained.

[0055] Next, the actuation at the time of discharge of piezo stack 2A is explained. If the secondary switching element 15 is turned on and off in the shape of a pulse, first, a saw-tooth-wave-like current will flow from piezo stack 2A to the transformer secondary coil 132 at the "on" period of the secondary switching element 15, and energy will be accumulated in a transformer 13. Since the sense of the current at the time of discharge is the time of charge, and hard flow, the induced electromotive force generated in the transformer upstream coil 131 serves as a reverse bias to the upstream parasitism diode 141, and a current does not flow to the primary side circuit 121.

[0056] And if the secondary switching element 15 turns off, the induced electromotive force generated in the transformer upstream coil 131 will serve as forward bias to the upstream parasitism diode 141, a current will flow in the path of the transformer upstream coil 131 a buffer capacitor 113 the upstream parasitism diode 141 - the transformer upstream coil 131, and a buffer capacitor 113 will be charged. That is, the electrostatic energies of piezo stack 2A will be collected by the buffer capacitor 113.

[0057] Thus, according to this invention, since the supply energy to piezo stack 2A - 2D is controllable by high degree of accuracy, excess and deficiency are not produced to supply energy, but futility arises in consumed electric power, or producing poor actuation is avoided.

[0058] In addition, it can consider as the circuitry from which the degree of freedom of an insertion point is large since an upstream switching element should just open and close a primary side circuit in this invention, although a switching element is conventionally interposed between a capacitor and an inductor with equipment (refer to drawing 9) since a diode, inductor, and piezo stack needs to form a

closed circuit by two or more switching method, and said closed circuit is formed in OFF of a switching element, and a switching element serves as a low side switch like this operation gestalt. Thereby, the configuration of the drive circuit of a switching element can be performed simply. That is, it is because the source potential of a switching element is always touch-down potential and is conventionally stable with this operation gestalt to changing the potential of the connection middle point of both the switching elements 904,905 with equipment.

[0059] (The 2nd operation gestalt) The 2nd operation gestalt of this invention is shown in drawing 7. Since the part which is the thing of a configuration of driving a single piezo actuator, and attached the same number as the 1st operation gestalt among drawing carries out the same actuation as the 1st operation gestalt, it explains focusing on difference with the 1st operation gestalt.

[0060] With this operation gestalt, ECU3A is carrying out the on-off drive of the upstream switching element 14 and the secondary switching element 15 like the 1st operation gestalt, and changes charge and discharge of the single piezo stack 2.

[0061] (The 3rd operation gestalt) The 3rd operation gestalt of this invention is shown in drawing 8. It is what was made to perform the on-off drive of an upstream switching element with another configuration, and a fundamental configuration is the thing of the 2nd operation gestalt. Among drawing, since the part which attached the same number as the 1st and 2nd operation gestalt carries out the same actuation as the 1st and 2nd operation gestalt, it explains focusing on difference with the 1st and 2nd operation gestalt.

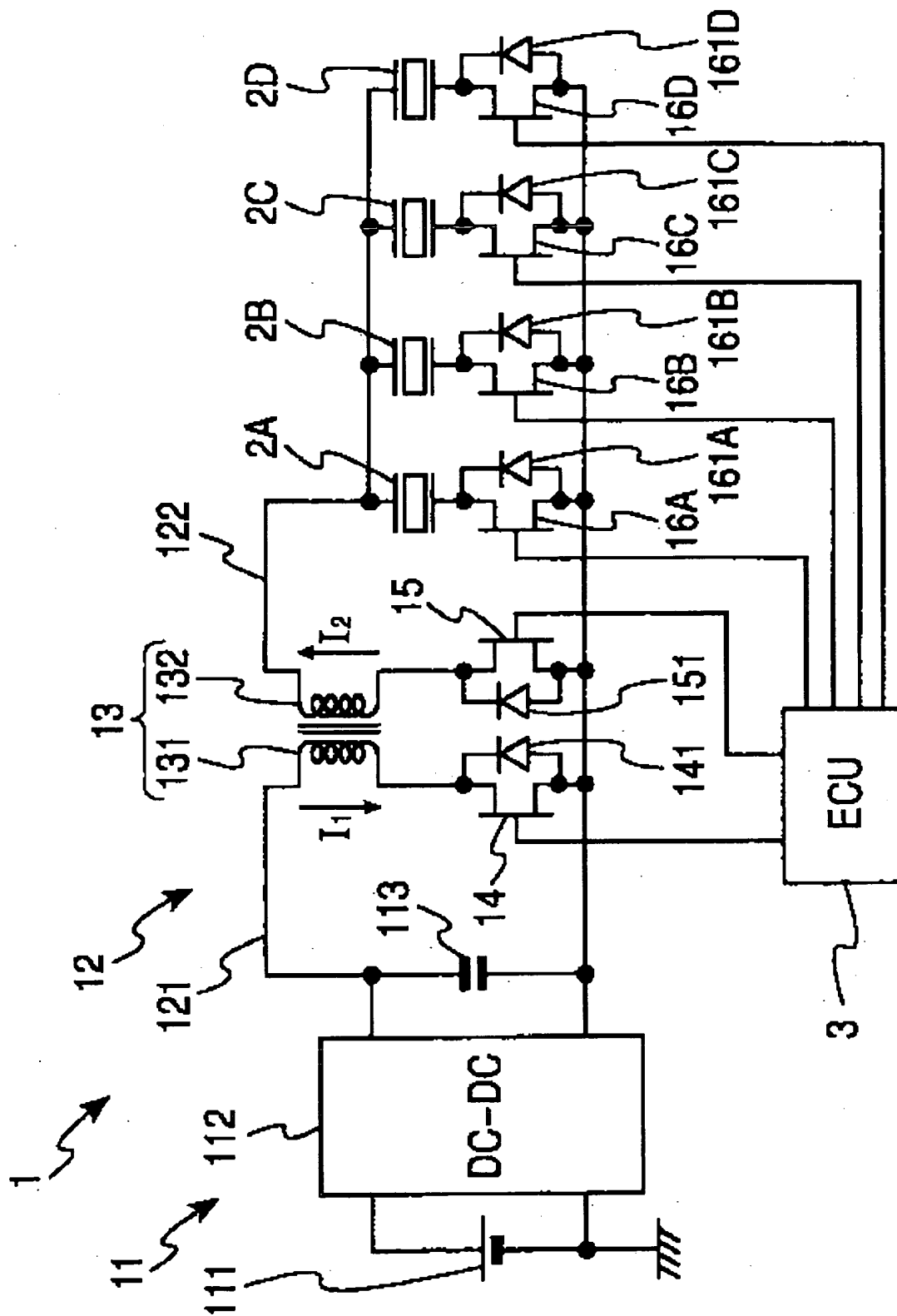
[0062] The fundamental configuration of primary side-circuit 121A and secondary circuit 122A is the same as that of the 1st and 2nd operation gestalt. On the common track by the side of the source of the upstream switching element 14 and the secondary switching element 15 of primary side-circuit 121A and secondary circuit 122A The resistor 17 of low resistance is formed as an object for current detection, and ECU3B determines the off timing of the upstream switching element 14 based on the current detected by the resistor 17.

[0063] For ECU3B, the upstream switching element 14 is the current I1 in an ON state. When the current I set up beforehand is reached, it is constituted so that the upstream switching element 14 may be made to turn off. Energy supply can be performed to the piezo stack 2 with high degree of accuracy so that clearly [ this configuration ] from said formula (1).

[0064] In addition, in said each operation gestalt, although it has the composition of permitting only the current of the charge direction of a piezo stack for a secondary circuit with secondary parasitism diode, at the time of charge, a switching element may form the diode of another object. The same is said of upstream parasitism diode.

---

[Translation done.]



(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-101673

(P2002-101673A)

(43) 公開日 平成14年4月5日(2002.4.5)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 2 N 2/00		H 0 2 N 2/00	B 3 G 0 6 6
F 0 2 M 51/00		F 0 2 M 51/00	E
51/06		51/06	N
H 0 1 L 41/083		47/00	E
// F 0 2 M 47/00		47/02	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-285566(P2000-285566)

(22) 出願日 平成12年9月20日(2000.9.20)

(71) 出願人 000004695

株式会社日本自動車部品総合研究所  
愛知県西尾市下羽角町岩谷14番地

(71) 出願人 000004260

株式会社デンソー  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 深川 康弘

愛知県西尾市下羽角町岩谷14番地 株式会  
社日本自動車部品総合研究所内

(74) 代理人 100067596

弁理士 伊藤 求馬

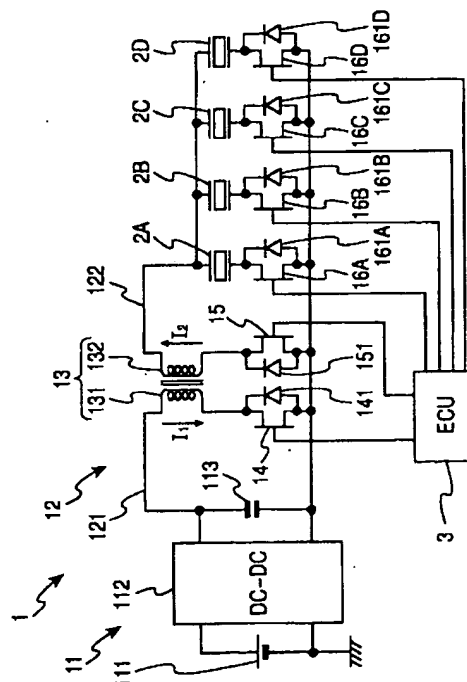
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ピエゾアクチュエータ駆動回路

## (57) 【要約】

【課題】 ピエゾスタックへの供給エネルギーを環境温度等の影響を受けないで高精度で制御することである。

【解決手段】 直流電源11からトランス13を介してピエゾスタック2に通電する構成とし、その通電回路12を、一次側回路121にはスイッチング素子14を設け、二次側回路122にはスイッチング素子14がオンからオフに切り替わる時にトランス二次側巻線132に発生する誘導起電力が順バイアスとなるようにダイオード151を設けてスイッチング素子14のオフ時にのみ二次側回路122の電流を許容することで、ピエゾスタック2への供給エネルギーがスイッチング素子14のオン状態の時に流れる一次側回路121の電流と温度依存性の小さいトランス一次巻線131のインダクタンスで規定されるようにする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ピエゾアクチュエータに設けられたピエゾスタックの充電をフライバック方式で行うピエゾアクチュエータ駆動回路において、

前記ピエゾスタックへの通電経路を、直流電源からトランスを介して前記ピエゾスタックに通電する構成とし、前記直流電源と前記トランスの一次側の巻線とが直列に接続される前記通電経路の一次側回路には、該一次側回路を開閉するエネルギー供給用のスイッチング素子

を設け、前記直流電源と前記トランスの二次側の巻線とが直列に接続される前記通電経路の二次側回路には、前記一次側回路閉成時に前記二次側巻線に発生する誘導起電力が順バイアスとなるようにエネルギー供給用のダイオードを設けたことを特徴とするピエゾアクチュエータ駆動回路。

【請求項2】 請求項1記載のピエゾアクチュエータ駆動回路において、前記直流電源にはその出力端間にコンデンサを介設せしめ、

前記二次側回路には、前記ダイオードと並列にエネルギー回収用のスイッチング素子を設け、

前記一次側回路には、前記充電制御用のスイッチング素子と並列に前記直流電源に対して逆バイアスとなるようにエネルギー回収用のダイオードを設けたピエゾアクチュエータ駆動回路。

【請求項3】 請求項1または2いずれか記載のピエゾアクチュエータ駆動回路において、前記スイッチング素子を、その一端が前記通電経路の基準電位となるように結線したピエゾアクチュエータ駆動回路。

【請求項4】 請求項1ないし3いずれか記載のピエゾアクチュエータ駆動回路において、前記二次側回路には、前記ピエゾスタックと前記ピエゾアクチュエータ選択用のスイッチング素子を直列に接続したものを複数組並列に接続したピエゾアクチュエータ駆動回路。

【請求項5】 請求項1ないし4いずれか記載のピエゾアクチュエータ駆動回路において、前記一次側回路を開閉するスイッチング素子を所定の回数だけオンオフすることによってピエゾアクチュエータに所望のエネルギーを供給するピエゾアクチュエータ駆動回路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はピエゾアクチュエータ駆動回路に関する。

## 【0002】

【従来の技術】ピエゾアクチュエータはPZT等の圧電材料の圧電作用を利用したもので、容量性素子であるピエゾスタックが充放電により伸長または縮小してピストン等を直線動する。例えば、内燃機関の燃料噴射用のイ

ンジェクタの開閉弁の切り替えをピエゾアクチュエータにより行うものが知られている。

【0003】ピエゾスタックを充放電するピエゾアクチュエータ駆動回路として複数スイッチング方式のものがある。図9はかかるピエゾアクチュエータ駆動回路の代表例を示すもので、直流電源902とピエゾスタック901とを結ぶ通電経路にスイッチング素子904とインダクタ909を直列に設けるとともに、直流電源902に対して逆バイアスとなるようにダイオード907を設けて該ダイオード907、インダクタ909およびピエゾスタック901とで閉回路を形成している。そして、スイッチング素子904をオンオフすることで、オン時には直流電源902～インダクタ909～ピエゾスタック901～直流電源902という経路で電流が流れ、オフ時にはインダクタ909～ピエゾスタック901～ダイオード907～インダクタ909という経路でフライホイール電流が流れる。これにより、ピエゾスタック901に充電がなされ、ピエゾスタック901が伸長したり押圧力を発生する。1回の充電量を小さくしてインダクタ909を小型化すべく、通常、スイッチング素子904のオンオフ作動を繰り返すことで充電作動を複数回に分けて行う（特開平10-308542号公報等）。なお、図中、ダイオード908、スイッチング素子905はピエゾスタック901のエネルギーをバッファコンデンサ906に回収するためのものである。

【0004】ピエゾスタックに所定の伸長量や前記ピストン等への所定の押圧力を生じせしめるには、充電量を制御する必要があるが、ピエゾスタックへの供給エネルギーが $(1/2)CV^2$ （C：ピエゾスタックの静電容量、V：ピエゾスタック電圧）で表されることから、ピエゾスタック電圧が所定値となるように、スイッチング素子のオンオフ回数等を制御するものがある。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、一般的にピエゾスタックを含め容量性素子は静電容量が温度の上昇で大きく増大する。例えば、 $-20\sim 160^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で、インダクタ等ではインダクタンスが数%程度の変化に止まるのに対して、ピエゾスタックでは静電容量が前記温度範囲において数倍程度変化する大きな温度依存性を示す。このため、例えば、ピエゾスタック電圧が正確に前記設定値となっても、ピエゾスタックに蓄積される静電エネルギー量が温度に依存することになって、前記伸長量が正確に与えられなかったり、押圧力に過不足を生じたりする。この結果、例えば、前記内燃機関において高精度な燃料噴射が実現できないという問題を生じる。

【0006】特開平11-31755号公報には、充電中のピエゾスタックの伸長量やピエゾスタック電圧の挙動を監視してその結果をスイッチング素子の作動に反映せしめることで、ピエゾスタックの静電容量の温度依存

性を吸収するようにしたものが開示されている。

【0007】しかしながら、前記特開平11-31755号公報記載の技術では、演算負担が大きくコストアップする。

【0008】また、ピエゾスタック電圧とともにピエゾスタックへの充電電流を検出し、これに乗じたものを積算して供給エネルギー量を求めることも考えられるが、結局、演算負担が大きい上、電圧と電流の両方を検出することが必要になる。

【0009】本発明は前記実情に鑑みなされたもので、  
10 過重な演算負担を伴わずに高精度でピエゾスタックの伸長量等を制御することのできるピエゾアクチュエータ駆動回路を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の発明では、ピエゾアクチュエータに設けられたピエゾスタックの充電をフライバック方式で行うピエゾアクチュエータ駆動回路において、前記ピエゾスタックへの通電経路を、直流電源からトランスを介して前記ピエゾスタック  
20 に通電する構成とする。前記直流電源と前記トランスの一次側の巻線とが直列に接続される前記通電経路の一次側回路には、該一次側回路を開閉するエネルギー供給用のスイッチング素子を設ける。前記直流電源と前記トランスの二次側の巻線とが直列に接続される前記通電経路の二次側回路には、前記一次側回路閉成時に前記二次側巻線に発生する誘導起電力が順バイアスとなるようにエネルギー供給用のダイオードを設ける。

【0011】スイッチング素子がオンするとトランスの一次側巻線に漸増する電流が流れ、トランスに電流値に  
30 応じたエネルギーが蓄積される。この時のトランスの二次側巻線に発生する誘導起電力はダイオードの逆止作用でピエゾスタックの充電に寄与しない。次いでスイッチング素子がオフすると、この時のトランスの二次側巻線に発生する誘導起電力はダイオードに対して順バイアスであるから、二次側回路に電流が流れてピエゾスタックが充電される。

【0012】従来のもの(図9参照)ではスイッチング素子がオン状態の時には直流電源からのエネルギーがインダクタとピエゾスタックとに分配されて蓄積されるのに対し、本発明では、前記のごとくピエゾスタックへ供給されるエネルギーはスイッチング素子がオン状態の時にトランスに蓄積されたエネルギーだけである。このエネルギーは、インダクタと同様に、 $(1/2)LI^2$  (L:トランス一次巻線のインダクタンス、I:スイッチング素子オフ直前のトランス一次巻線の電流)と表される。すなわち、容量素子に比して温度変化の小さいインダクタとしてのトランス一次巻線のインダクタンスLと電流値Iで規定される。したがって、電流値Iが所定値に達したことを監視するだけで、エネルギー量等の演算を伴うことなくピエゾスタックへの供給エネルギー  
50

の制御を高精度に行うことができる。

【0013】請求項2記載の発明では、請求項1の発明の構成において、前記直流電源にはその出力端間にコンデンサを介設せしめる。前記二次側回路には、前記ダイオードと並列にエネルギー回収用のスイッチング素子を設ける。前記一次側回路には、前記充電制御用のスイッチング素子と並列に前記直流電源に対して逆バイアスとなるようにエネルギー回収用のダイオードを設ける。

【0014】エネルギー回収用のスイッチング素子がオンすると、ピエゾスタックの放電電流がトランスの二次側巻線に流れ、トランスにエネルギーが蓄積される。続いて前記エネルギー回収用のスイッチング素子がオフすると、一次側巻線に誘導電流が流れてコンデンサに電荷すなわちエネルギーが回収される。

【0015】請求項3記載の発明では、請求項1または2の発明の構成において、前記スイッチング素子を、その一端が前記通電経路の基準電位となるように結線する。

【0016】スイッチング素子をローサイドスイッチ化できるので、スイッチング素子の駆動回路を簡易な構成とすることができる。

【0017】請求項4記載の発明では、請求項1ないし3の発明の構成において、前記二次側回路には、前記ピエゾスタックと前記ピエゾアクチュエータ選択用のスイッチング素子を直列に接続したものを複数組並列に接続する。

【0018】ピエゾアクチュエータ選択用のスイッチング素子のうちオンしたものに対応するピエゾスタックのみが前記二次側回路を形成する。複数のピエゾアクチュエータに対してトランスやエネルギー供給用のスイッチング素子等を共通の構成とすることができるので、回路構成の簡単化、コスト低減を図ることができる。

【0019】請求項5記載の発明では、請求項1ないし4の発明の構成において、前記一次側回路を開閉するスイッチング素子を所定の回数だけオンオフすることによってピエゾアクチュエータに所望のエネルギーを供給する構成とする。

【0020】前記スイッチング素子のオンオフ回数に応じて供給エネルギーを任意に制御することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】(第1実施形態)図1に本発明を適用したピエゾアクチュエータ駆動回路の構成を示す。ピエゾアクチュエータ駆動回路はコモンレール式の4気筒ディーゼルエンジンの燃料噴射システムに適用されたもので、燃料噴射システムの全体構成については後述する。ピエゾアクチュエータ駆動回路1は、車載のバッテリー111、バッテリー111から数十〜数百Vの直流電圧を発生するDC-DCコンバータ112、およびその出力端に並列に接続されたバッファコンデンサ113により直流電源11を構成し、ピエゾスタック2A、2B、

2C、2Dの充電用の電圧を出力する。直流電源11からピエゾスタック2A~2Dに通電する通電経路12は通電をトランス13を介して行うようになっている。バッファコンデンサ113は比較的静電容量の大きなもので構成され、ピエゾスタック2A~2Dへの充電作動時にも略一定の電圧値を保つようになっている。

【0022】ピエゾスタック2A~2Dは、後述するように、各気筒に設けられたインジェクタの燃料噴射と停止の切り替え用としてインジェクタのそれぞれに搭載される。

【0023】通電経路12の、直流電源11とトランス13の一次側巻線131とを接続する一次側回路121には、コンデンサ113およびトランス一次側巻線131に直列にスイッチング素子（以下、適宜、一次側スイッチング素子という）14が設けてあり、一次側回路121を開閉するようになっている。スイッチング素子14にはnMOSFETが用いられており、そのドレインはトランス一次側巻線131と導通し、そのソースは接地されて基準電位となっている。これにより、一次側スイッチング素子14の寄生ダイオード（以下、適宜、一次側寄生ダイオードという）141は、直流電源11に対して逆バイアスとなり、トランス一次側巻線131からコンデンサ113の正極に向かう方向の電流のみを許容する。

【0024】通電経路12の、トランス13の二次側巻線132とピエゾスタック2A~2Dとを接続する二次側回路122には、トランス二次側巻線132およびピエゾスタック2A~2Dに直列にスイッチング素子（以下、適宜、二次側スイッチング素子という）15が設けてあり、二次側回路122を開閉するようになっている。二次側スイッチング素子15はnMOSFETが用いられており、そのドレインはトランス二次側巻線132と導通し、そのソースは接地されて基準電位となっている。二次側スイッチング素子15の寄生ダイオード（以下、適宜、二次側寄生ダイオードという）151は、トランス二次側巻線132からピエゾスタック2A~2Dに向かう方向の電流のみを許容する。

【0025】二次側回路122はピエゾスタック2A~2Dのそれぞれに共通であり、また、次のように駆動対象としてのピエゾスタック2A~2Dが選択できる。すなわち、ピエゾスタック2A~2Dのそれぞれには直列にスイッチング素子（以下、適宜、選択スイッチング素子という）16A、16B、16C、16Dが1対1に接続されて、噴射気筒のインジェクタのピエゾスタック2A~2Dに対応する16A~16Dがオンされる。選択スイッチング素子16A~16DはnMOSFETが用いられており、そのドレインは対応するピエゾスタック2A~2Dと導通し、そのソースは接地されて基準電位となっている。選択スイッチング素子16A~16Dの寄生ダイオード（以下、適宜、二次側寄生ダイオードと

いう）161A、161B、161C、161Dは、二次側寄生ダイオード151と逆にピエゾスタック2A~2Dからトランス二次側巻線132に向かう方向の電流のみを許容する。

【0026】スイッチング素子14、15、16A~16Dの各ゲートにはECU3からそれぞれ制御信号が入力しており、前記のごとく選択スイッチング素子16A~16Dのいずれかをオンして駆動対象のピエゾスタック2A~2Dが選択されるとともに、一次側スイッチング素子14、二次側スイッチング素子15のゲートにはパルス状の制御信号が入力してスイッチング素子14、15をオンオフし、一次側回路121および二次側回路122を開閉するようになっている。

【0027】また、トランス13の巻線131、132の巻回方向は次のように設定してある。すなわち、一次側スイッチング素子14がオンで一次側回路121が閉成されるとトランス一次側巻線131に漸増する電流が流れるが、この漸増する電流によりトランス二次側巻線132に発生する誘導起電力が二次側寄生ダイオード151に対し逆バイアスとなるように設定される。これは、一次側スイッチング素子14がオンからオフに切り替わり一次側回路121が開成した時にトランス二次側巻線132に発生する誘導起電力が二次側寄生ダイオード151に対し順バイアスとなるように設定されるのと等価である。これにより、一次側スイッチング素子14のオン時には二次側回路122に電流が流れず、一次側スイッチング素子14のオフ時に二次側回路122にトランス二次側巻線132からピエゾスタック2A~2Dに向かう方向の電流が流れ、ピエゾスタック2A~2Dが充電される。充電によりピエゾスタック2A~2Dは伸長する。

【0028】したがって、ピエゾスタック2A~2Dが充電状態の時、二次側スイッチング素子15をオンして二次側回路122が閉成し、二次側回路122にピエゾスタック2A~2Dからの放電電流が流れてピエゾスタック2A~2Dが縮小する。ここで、二次側回路122に前記放電電流が流れても、一次側回路121に電流が流れず、二次側スイッチング素子15のオフ時に一次側回路121にトランス一次側巻線131からバッファコンデンサ113に向かう方向の電流が流れ、バッファコンデンサ113が充電される。

【0029】図2にピエゾスタック2A~2Dが搭載される燃料噴射用のインジェクタの構造を示し、図3に前記インジェクタを有し構成されるディーゼルエンジンのコモンレール式の燃料噴射システムの構成を示す。ディーゼルエンジンの気筒数分のインジェクタ4が各気筒に対応して設けられ（図例ではインジェクタ4は1つのみ図示）、供給ライン55を介して連通する共通のコモンレール54から燃料の供給を受け、インジェクタ4から各気筒の燃焼室内に略コモンレール54内の燃料圧力

(以下、コモンレール圧力) に等しい噴射圧力で燃料を噴射するようになっている。コモンレール54には燃料タンク51の燃料が高圧サプライポンプ53により圧送されて高圧で蓄えられる。

【0030】また、コモンレール54からインジェクタ4に供給された燃料は、上記燃焼室への噴射用の他、インジェクタ4の制御油圧等としても用いられ、インジェクタ4から低圧のドレーンライン56を経て燃料タンク51に還流するようになっている。

【0031】圧力センサ57はコモンレール54に設けられてコモンレール圧力を検出し、その検出結果に基づいてECU3が調量弁52を制御してコモンレール54への燃料の圧送量を調整し、コモンレール圧力を他のセンサ入力等により知られる運転条件に応じた適正な噴射圧となるように制御する。

【0032】図2に示すごとく、インジェクタ4は棒状体で、図中下側部分がエンジンの図略の燃焼室壁を貫通して燃焼室内に突出するように取り付けられている。インジェクタ4は下側から順にノズル部4a、背圧制御部4b、ピエゾアクチュエータ4cとなっている。

【0033】ノズル部4aの本体404内にニードル421がその後端部に摺動自在に保持されており、ニードル421はノズル本体404の先端部に形成された環状シート4041に着座または離座する。ニードル421の先端部の外周空間405には高圧通路401を介してコモンレール54から高圧燃料が導入され、ニードル421の離座時に噴孔403から燃料が噴射される。ニードル421にはその環状段面4211に前記高圧通路401からの燃料圧がリフト方向(上向き)に作用している。

【0034】ニードル421の後方には高圧通路401からインオリフィス407を介して制御油としての燃料が導入されており、ニードル421の背圧を発生する背圧室406が形成される。この背圧は、背圧室406に配設されたスプリング422とともにニードル421の後端面4212に着座方向(下向き)に作用する。

【0035】前記背圧は背圧制御部4bで切り替えられ、背圧制御部4bは前記ピエゾスタック2Aを備えたピエゾアクチュエータ4cにより駆動される。なお、ピエゾスタック2B~2Dを備えたインジェクタも同じ構造である。

【0036】前記背圧室406はアウトオリフィス409を介して常時、背圧制御部4bの弁室410と連通している。弁室410は天井面4101が上向きの円錐状に形成されており、天井面4101の最上部で低圧室411とつながっている。低圧室411はドレーンライン56に通じる低圧通路402と連通している。

【0037】弁室410の底面4102には高圧通路401から分岐する高圧制御通路408が開口している。

【0038】弁室410内には、下側部分を水平にカッ

トしたボール423が配設されている。ボール423は上下動可能な弁体であり、下降時には、上記カット面で弁座としての弁室底面(以下、高圧側シートという)4102に着座し弁室410を高圧制御通路408と遮断し、上昇時には弁座としての上記天井面(以下、低圧側シートという)4101に着座し弁室410を前記低圧室411から遮断する。これにより、ボール423下降時には背圧室410がアウトオリフィス409、弁室410を経て低圧室411と連通し、ニードル421の背圧が低下してニードル421が離座する。一方、ボール423の上昇時には背圧室406が低圧室411と遮断されて高圧通路401のみと連通し、ニードル421の背圧が上昇してノズルニードル421が着座する。

【0039】ボール423はピエゾアクチュエータ4cにより押圧駆動される。ピエゾアクチュエータ4cは、低圧室411の上方に上下方向に形成された縦穴412に径の異なる2つのピストン424、425が摺動自在に保持され、上側の大径のピストン425の上方にピエゾスタック2Aが上下方向を伸縮方向として配設されている。

【0040】大径ピストン425はその下方に設けられたスプリング426によりピエゾスタック2Aと当接状態を維持しており、ピエゾスタック2Aの伸縮量と同じだけ上下方向に変位するようになっている。

【0041】ボール423と対向する下側の小径ピストン424と大径ピストン425と縦穴412とで画された空間には燃料が充填されて変位拡大室413が形成されており、ピエゾスタック2Aの伸長で大径ピストン425が下方変位して変位拡大室413の燃料を押圧すると、その押圧力が変位拡大室413の燃料を介して小径ピストン424に伝えられる。ここで、小径ピストン424は大径ピストン425よりも小径としているので、ピエゾスタック2Aの伸長量が拡大されて小径ピストン424の変位に変換される。

【0042】変位拡大室413は常時十分な燃料が満たされるように図示しないチェック弁を介して低圧通路402と通じている。チェック弁は低圧通路402から変位拡大室413に向かう方向を順方向として設けられており、ピエゾスタック2Aの伸長により大径ピストン425が押圧された時に閉じて燃料を変位拡大室413に閉じ込めるようになっている。

【0043】燃料噴射時には、まず、ピエゾスタック2Aが充電されてピエゾスタック2Aが伸長することにより、小径ピストン424が下降してボール423を押し下げる。これによりボール423が低圧側シート4101から離間するとともに高圧側シート4102に着座して背圧室406が低圧通路402と連通するので、背圧室406の燃料圧が低下する。これにより、ニードル421に離座方向に作用する力の方が着座方向に作用する力よりも優勢となって、ニードル421が離座して燃料



噴射が開始される。

【0044】噴射停止は反対にピエゾスタック2Aの放電によりピエゾスタック2Aを縮小してボール423への押し下げ力を解除する。この時、弁室410内は低圧となっており、またボール423の底面には高圧制御通路408から高圧の燃料圧力が作用しているから、ボール423には全体としては上向きの燃料圧が作用している。そして、前記ボール423への押し下げ力の解除により、ボール423が高圧側シート4102から離間するとともに再び低圧側シート4101に着座して弁室410の燃料圧力が上昇するため、ニードル421が着座し噴射が停止する。そして、ピエゾスタック2Aの充電保持期間を設定することで、充電保持期間に対応した一定の期間、噴孔401から燃料が噴射される。

【0045】図4に前記ピエゾアクチュエータ駆動回路1の各部の作動を示し、これにより、ECU3の設定とともにピエゾアクチュエータ駆動回路1を含む燃料噴射システムの作動を説明する。なお、どのインジェクタについても作動は実質的に同じであり、代表してピエゾスタック2Aを備えたインジェクタ4について説明する。図中、前半がピエゾスタック2Aの充電時で、後半がピエゾスタック2Aの放電時の作動を示している。予めピエゾスタック2Aに対応する選択スイッチング素子16Aがオンに切り替えられる。

【0046】ピエゾスタック2Aの充電時の作動について説明する。一次側スイッチング素子14をパルス状にオンオフすると、まず、一次側スイッチング素子14のオン期間にコンデンサ113からトランス一次側巻線131に鋸波状の電流が流れ(I1)、トランス13にエネルギーが蓄積される。この時、前記のごとく二次側回路122には電流は流れず(I2)、ピエゾスタック2Aは充電されない。

【0047】そして、一次側スイッチング素子14がオフすると、トランス二次側巻線132に発生する誘導起電力は二次側寄生ダイオード151に対して順バイアスとなって、トランス二次側巻線132〜ピエゾスタック2A〜二次側寄生ダイオード151〜トランス二次側巻線132という経路で電流が流れ、ピエゾスタック2Aは充電される。すなわち、トランス13に蓄積されたエネルギーがピエゾスタック2Aに移動する。

【0048】ここでトランス13に蓄積されるエネルギーWは、一次側巻線131のインダクタンスをL、一次側巻線131の通電電流のピーク値をIとすると、式(1)となる。

$$W = (1/2) L I^2 \cdots (1)$$

【0049】また、バッファコンデンサ113の電圧をV、一次側スイッチング素子14のオン時間をTとして、 $I = VT/L$ であるから、式(2)と表せる。

$$W = (1/2) (VT)^2 / L \cdots (2)$$

【0050】そして、このエネルギーは式(2)より知

られるように、温度依存性の小さいトランス一次巻線131のインダクタンスに依存してピエゾスタック2Aの静電容量には依存せず、また、バッファコンデンサ113の電圧Vは一定であるから、オン時間Tの設定や一次側スイッチング素子14のオンオフ回数の設定に応じてピエゾスタック2Aへの供給エネルギーを高精度に制御することができる。例えば図4の例のように、スイッチング素子14を複数回オンオフするとともに、オン時間Tを一定にしてスイッチング素子14の1回のオンオフにおけるエネルギーWを一定にし、要求されるエネルギーに応じてスイッチング素子14のオンオフ回数を設定して、オンオフ回数によりピエゾスタック2Aへの供給エネルギーをエネルギーWを単位として任意に制御することができる。これにより、ニードル421を着座状態のままボール423をリフト状態とする、いわゆるハーフリフトとすることが容易に可能となり、コモンレール圧の制御を高精度に行うことができる。例えば、コモンレール圧に応じてピエゾスタック2Aへの供給エネルギーを制御することで、コモンレール圧の影響を受けるボール423のリフト量を所期の値にすることができる。

【0051】しかも、ピエゾスタック2Aの温度依存性に基因するピエゾスタック電圧等の変化を監視して充電制御にフィードバックしていく必要がないので、演算負担が軽い。

【0052】図5、図6はピエゾスタック2Aの伸び量およびバルブ423の変位量の温度特性を示すもので、図5が本発明のもので、図6がピエゾスタック電圧が所定値に達したら充電完了とする従来装置(図9参照)のものである。なお、両図にはそれぞれ併せてピエゾスタック2Aへの供給エネルギーの温度特性を示している。供給エネルギーはピエゾスタック電圧と充電電流を検出し、これに乗じたものを積算することで求めている。

【0053】従来装置では-20〜160℃の温度範囲で供給エネルギーが2倍以上変化し、ピエゾスタックの伸び量、ボールの変位量は2倍近く変化する。これに対して本発明では、前記温度範囲で供給エネルギーは殆ど変化せず、ピエゾスタックの伸び量、バルブ変位量とも一定している。なお、図中、ピエゾスタックの伸び量は、拡大率(ピストンの断面積比)により換算したものであるが、実際のボールの変位量の方が小さいのは、弁室410の高圧の燃料をボール423を介して小径ピストン424が受けることで変位拡大室413の燃料が圧縮され、この圧縮で拡大率が減じられるためである。

【0054】また、トランス13の巻線比(一次側巻線:二次側巻線)を1:2や1:3のように、二次側巻線132の方を十分に大きくとって昇圧比を上げることで、一次側電圧すなわちDC-DC回路112の出力電圧を低電圧化することができる。これにより、バッファコンデンサ113に低耐圧のものが使用可能となり、回路の小型化を図ることができる。

【0055】次にピエゾスタック2Aの放電時の作動について説明する。二次側スイッチング素子15をパルス状にオンオフすると、先ず、二次側スイッチング素子15のオン期間にピエゾスタック2Aからトランス二次側巻線132に鋸波状の電流が流れ、トランス13にエネルギーが蓄積される。放電時の電流の向きは充電時と逆方向であるから、トランス一次側巻線131に発生する誘導起電力は一次側寄生ダイオード141に対して逆バイアスとなって一次側回路121には電流は流れない。

【0056】そして、二次側スイッチング素子15がオフすると、トランス一次側巻線131に発生する誘導起電力は一次側寄生ダイオード141に対して順バイアスとなって、トランス一次側巻線131～バッファコンデンサ113～一次側寄生ダイオード141～トランス一次側巻線131という経路で電流が流れ、バッファコンデンサ113が充電される。すなわち、ピエゾスタック2Aの静電エネルギーがバッファコンデンサ113に回収されることになる。

【0057】このように、本発明によれば、ピエゾスタック2A～2Dへの供給エネルギーを高精度で制御することができるので、供給エネルギーに過不足を生じず、消費電力量に無駄が生じたり、作動不良を生じることが回避される。

【0058】なお、複数スイッチング方式ではダイオード、インダクタおよびピエゾスタックが閉回路を形成する必要があるから、従来装置(図9参照)ではスイッチング素子をコンデンサとインダクタとの間に介設してスイッチング素子のオフで前記閉回路が形成されるようにするが、本発明では、一次側スイッチング素子は一次側回路を開閉するだけでよいから挿入位置の自由度が広く、本実施形態のごとくスイッチング素子がローサイドスイッチとなる回路構成とすることができる。これにより、スイッチング素子の駆動回路の構成が簡易にできる。すなわち、従来装置では両スイッチング素子904、905の接続中点の電位が変動するのに対して本実施形態ではスイッチング素子のソース電位は常に接地電位であり安定しているからである。

【0059】(第2実施形態)図7に本発明の第2の実施形態を示す。単一のピエゾアクチュエータを駆動する構成のもので、図中、第1実施形態と同じ番号を付した部分は第1実施形態と同じ作動をするので、第1実施形態との相違点を中心に説明する。

【0060】本実施形態ではECU3Aは一次側スイッチング素子14および二次側スイッチング素子15を第1実施形態と同様にオンオフ駆動することで、単一のピエゾスタック2の充電と放電を切り替える。

【0061】(第3実施形態)図8に本発明の第3の実施形態を示す。一次側スイッチング素子のオンオフ駆動を別の構成にて行うようにしたもので、基本的な構成は第2実施形態のものである。図中、第1、第2実施形態

と同じ番号を付した部分は第1、第2実施形態と同じ作動をするので、第1、第2実施形態との相違点を中心に説明する。

【0062】一次側回路121A、二次側回路122Aは基本的な構成が第1、第2実施形態と同じで、一次側回路121Aおよび二次側回路122Aの、一次側スイッチング素子14および二次側スイッチング素子15のソース側の共通の線路に、電流検出用として低抵抗の抵抗器17が設けてあり、ECU3Bは抵抗器17により検出される電流に基づいて一次側スイッチング素子14のオフタイミングを決定する。

【0063】ECU3Bは一次側スイッチング素子14がオン状態での電流I1が予め設定した電流Iに達すると一次側スイッチング素子14をオフせしめるように構成される。かかる構成でも、前記式(1)から明らかのように、ピエゾスタック2に高精度でエネルギー供給を行い得る。

【0064】なお、前記各実施形態において、充電時には二次側寄生ダイオードにより二次側回路をピエゾスタックの充電方向の電流のみを許容する構成となっているが、スイッチング素子とは別体のダイオードを設けてもよい。一次側寄生ダイオードについても同様である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用したピエゾアクチュエータ駆動回路の回路図である。

【図2】前記ピエゾアクチュエータ駆動回路により駆動されるピエゾアクチュエータが搭載された燃料噴射用のインジェクタの断面図である。

【図3】前記インジェクタを有する内燃機関の燃料噴射システムの構成図である。

【図4】前記ピエゾアクチュエータ駆動回路のタイミングチャートである。

【図5】前記ピエゾアクチュエータ駆動回路の作動を説明するグラフである。

【図6】前記ピエゾアクチュエータ駆動回路と比較する従来のピエゾアクチュエータ駆動回路のグラフである。

【図7】本発明を適用した別のピエゾアクチュエータ駆動回路の回路図である。

【図8】本発明を適用したさらに別のピエゾアクチュエータ駆動回路の回路図である。

【図9】従来のピエゾアクチュエータ駆動回路の回路図である。

【符号の説明】

1 ピエゾアクチュエータ駆動回路

11 直流電源

111 バッテリ

112 DC-DCコンバータ

113 コンデンサ

12 通電経路

121 一次側回路

13

14

122 二次側回路

13 トランス

131 一次側巻線

132 二次側巻線

14 一次側スイッチング素子(エネルギー供給用のスイッチング素子)

141 一次側寄生ダイオード(エネルギー回収用のスイッチング素子)

15 二次側スイッチング素子(エネルギー回収用のスイッチング素子)

151 二次側寄生ダイオード(エネルギー供給用のス

イッチング素子)

16 選択スイッチング素子(ピエゾアクチュエータ選択用のスイッチング素子)

161 選択寄生ダイオード

17 抵抗器

2, 2A, 2B, 2C, 2D ピエゾスタック

3, 3A, 3B ECU

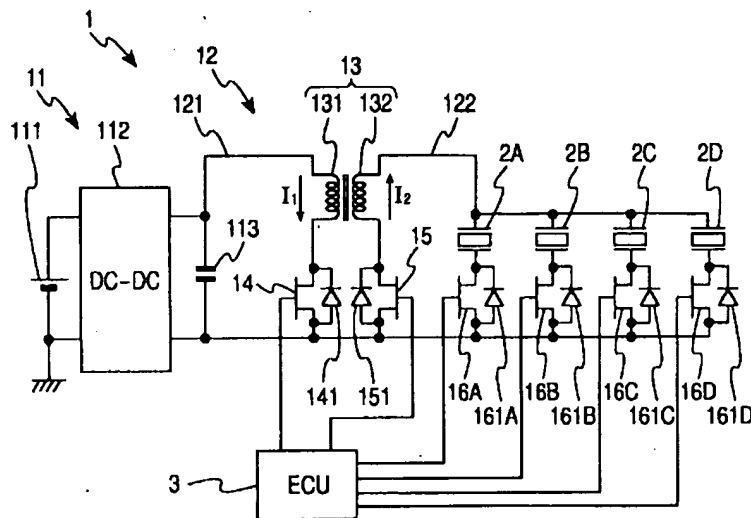
4 インジェクタ

4a ノズル部

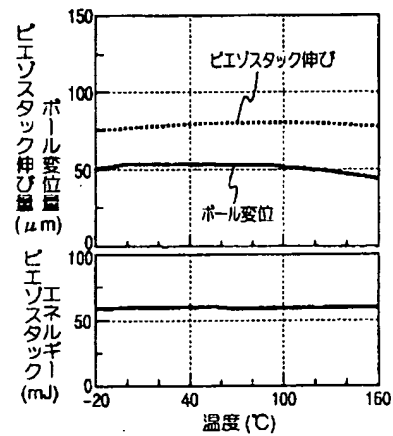
10 4b 背圧制御部

4c ピエゾアクチュエータ

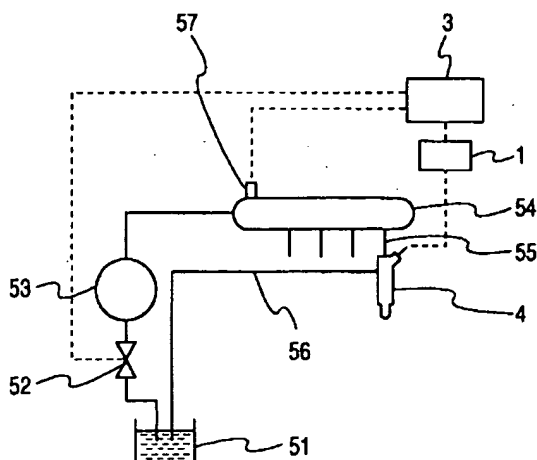
【図1】



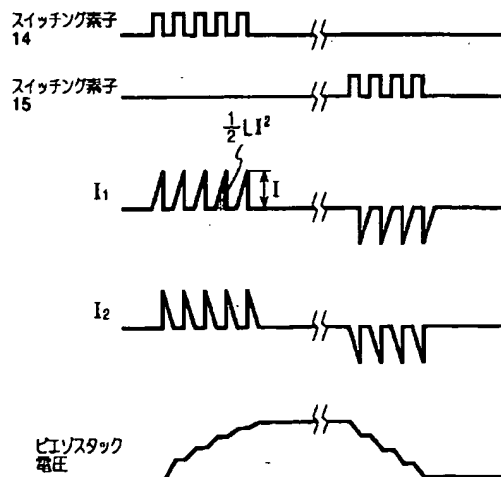
【図5】



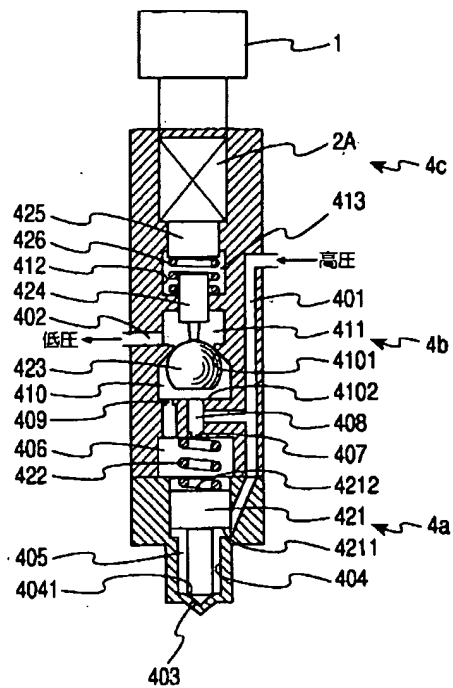
【図3】



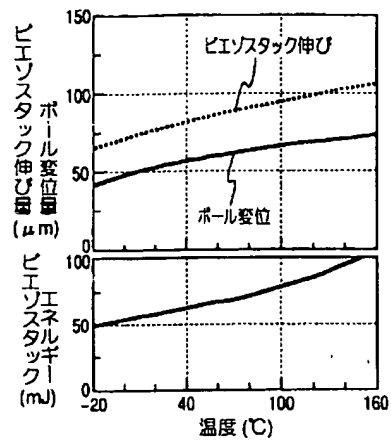
【図4】



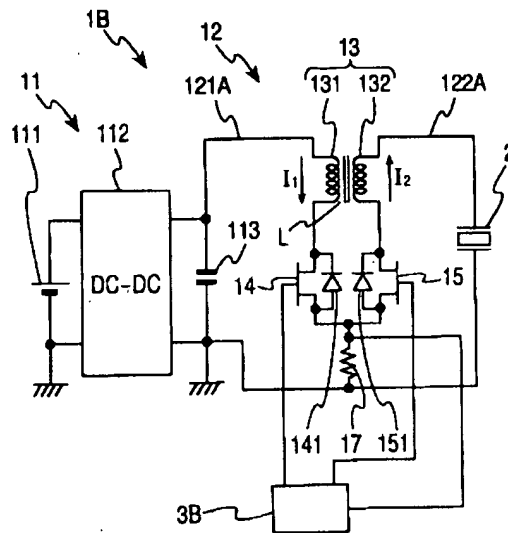
【図2】



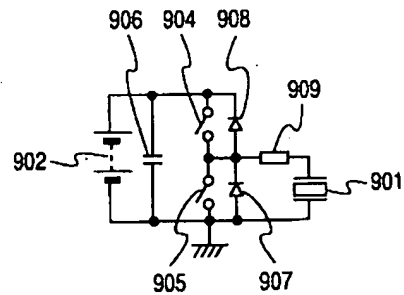
【図6】



【図8】



【図9】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーム(参考)
F 0 2 M 47/02		H 0 1 L 41/08	P
(72)発明者 森次 通泰		(72)発明者 猪頭 敏彦	
愛知県西尾市下羽角町岩谷14番地 株式会		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会	
社日本自動車部品総合研究所内		社デンソー内	
(72)発明者 榊原 康行		F ターム(参考) 3G066 AA07 AB02 AC09 AD12 BA19	
愛知県西尾市下羽角町岩谷14番地 株式会		BA33 BA66 CC06U CC14	
社日本自動車部品総合研究所内		CE27 DA04 DA06 DB15 DC18	